

University of Groningen

## The evolution of spiral galaxies in clusters

Kutdemir, Elif

**IMPORTANT NOTE:** You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

*Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

*Publication date:*

2010

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*

Kutdemir, E. (2010). *The evolution of spiral galaxies in clusters*. s.n.

### Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

### Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

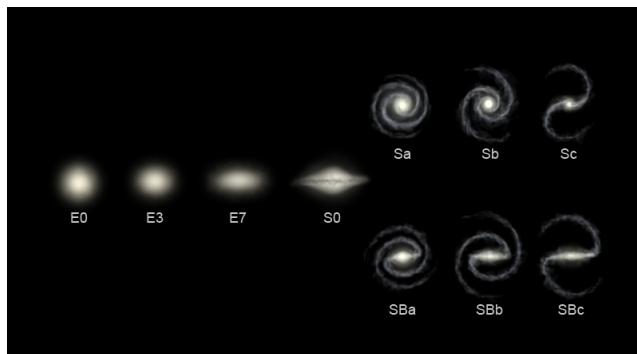
---

## Nederlandse Samenvatting

Onze studie van de natuur begint met wat we om ons heen zien. We vragen ons af hoe hij in elkaar steekt en proberen zijn bouwstenen te ontrafelen, zoals we doen in de biologie en de scheikunde. Deze ontdekkingstocht gaat echter ook in de andere richting: we willen ook weten wat onze plaats is in de grotere structuren. Behalve deze hiërarchie van grootteschalen die we proberen te begrijpen, is er ook nog een ander boeiend aspect: als we verderweg kijken in het heelal, kijken we ook terug in de tijd. Dat betekent dat we kunnen onderzoeken hoe dingen vormen en evolueren. Helaas werkt dit wel slechts in één richting: we kunnen met microscopen de toekomst niet zien.

We weten sinds honderden jaren dat onze planeet deel uitmaakt van het zonnestelsel en dat ons zonnestelsel weer een onderdeel is van ons melkwegstelsel, de Melkweg. Zoals we overal in de natuur diversiteit zien, zijn er ook verschillende soorten melkwegstelsels. Deze werden voor het eerst geclassificeerd door Edwin Hubble in 1924, op basis van hun uiterlijk (Fig. 5.1). Melkwegstelsels zoals onze Melkweg bevatten in het centrum een bolvormige component die uit sterren bestaat (de “bulge”), waar de sterren niet netjes ronddraaien, maar vrij willekeurig bewegen. Hier omheen zit een schijf die zowel sterren als gas bevat, waar de bewegingen veel meer op cirkelvormige rotatie lijken. Er zijn ook elliptische melkwegstelsels, die eigenlijk alleen uit een grote bulge bestaan, zonder schijf. Een soort van tussenvorm zijn de zogenaamde S0 stelsels, die voornamelijk uit een bulge bestaan, maar ook een gasloze schijfcomponent bevatten. De classificatie loopt van voornamelijk bolvormige (“vroeg-type”) naar voornamelijk schijfvormige (“laat-type”) melkwegstelsels.

Door de zwaartekracht worden objecten naar elkaar toe getrokken en vormen ze grotere structuren. In het heelal is materie niet gelijkmatig verdeeld. Er zijn gebieden met een lage dichtheid waar melkwegstelsels meer geïsoleerd zijn, en gebieden met een hoge dichtheid waar ze onderdeel uitmaken van groepen melkwegstelsels die door hun onderlinge zwaartekracht bij elkaar gehouden worden. Als zo’n groep

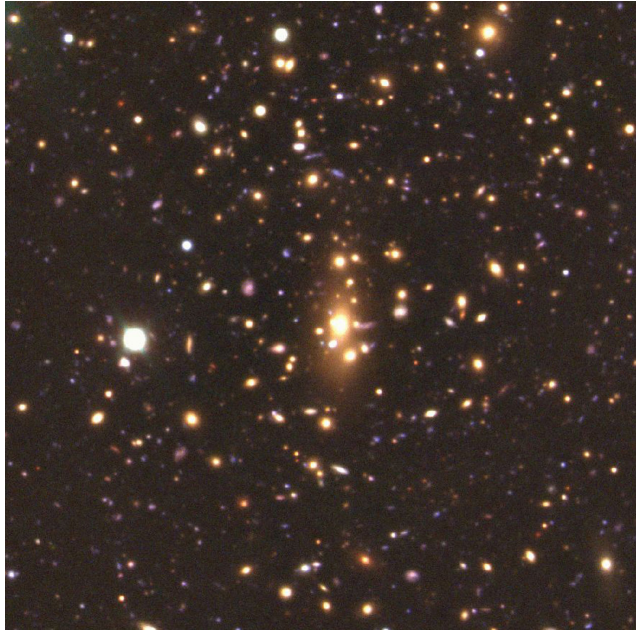


**Figuur 5.1:** De Hubble classificatie.

meer dan vijftig melkwegstelsels bevat, noemen we het een cluster, en deze kunnen uit duizenden stelsels bestaan. Sommige clusters hebben een regelmatige vorm met de meeste massa in het centrum, terwijl andere een onregelmatige structuur hebben. Er bestaan nog grotere verzamelingen melkwegstelsels, de zogenaamde superclusters, die tot wel tien keer zo groot kunnen zijn als een grote cluster. Ze hebben over het algemeen echter een lagere dichtheid en een onregelmatige vorm, met een klonterige massaverdeling en geen centrale massaconcentratie. De grotere en meest opvallende van deze structuren bevatten meerdere clusters, wat de naam “superclusters” ook verklaart (Oort 1983). Ons heelal lijkt dus op iedere schaal klonterig: van melkwegstelsels (kiloparsecs) en clusters (megaparsecs) tot grote superclusters (tientallen megaparsecs of meer).

Deze ongelijkmatigheid in de verdeling van melkwegstelsels maakt het heelal interessanter: in gebieden met een hoge dichtheid (clusters van melkwegstelsels) evolueren melkwegstelsels op een andere manier dan in gebieden met een lage dichtheid. Uit waarnemingen weten we dat gebieden met een hoge dichtheid gedomineerd worden door vroeg-type stelsels. In het vroege heelal was de fractie van spiraalstelsels hoger dan nu, terwijl we in het lokale heelal meer S0 stelsels zien (Dressler 1980). De fractie elliptische stelsels in deze gebieden verandert echter niet. Het feit dat spiraalstelsels zo efficiënt in S0 stelsels getransformeerd worden in gebieden met een hoge dichtheid, maakt clusters heel goede laboratoria om deze evolutie van melkwegstelsels te bestuderen (Fig. 5.2).

In clusters bewegen melkwegstelsels onder de invloed van een grote zwaartekrachtspotentiaal. In het centrum, waar de dichtheid het hoogst is, bewegen ze heel erg snel. Hoewel dit de frequentie van botsingen vergroot, voorkomt het dat melkwegstelsels door hun onderlinge zwaartekracht bij elkaar blijven en samensmelten. Als spiraalstelsels door het centrum van een cluster bewegen staan ze wel bloot aan de hoge druk van het dichte en hete gas in de cluster (het intracluster medium), wat het gas uit hun schijf doet verdwijnen. Deze processen zorgen ervoor dat melkwegstelsels hun gas kwijtraken en ophouden sterren te vormen. Simulaties laten zien dat getijdekrachten het gas ook naar het midden van de stelsels kan duwen, wat de



**Figuur 5.2:** Een zeer regelmatige en rijke cluster van melkwegstelsels, MS1008.1-1224

bulge groter maakt en de bulge-schijf verhouding verhoogt (Moore et al. 1996). Dit kan dus allemaal een rol spelen in de vorming van SO stelsels.

In minder dichte gebieden zijn samensmeltingen ('mergers') van melkwegstelsels belangrijk. Simulaties van samensmeltingen van spiraalstelsels laten zien dat het resultaat een elliptisch stelsel kan zijn. Verder groeien melkwegstelsels door een continue aanvoer van kleine dwergstelsels en gaswolken. Dit zorgt er voor dat melkwegstelsels langer nieuwe sterren kunnen blijven vormen. Studies van nabije stelsels hebben bewijs voor het invallen van dwergstelsels geleverd (zie Sancisi et al. 2008, voor een overzicht van dit thema). Recentelijk is ook een geïsoleerd melkwegstelsel ontdekt met een grote gasschijf die loodrecht staat op de sterschijf (Stanonik et al. 2009). De massa van de gasschijf is vergelijkbaar met die van de sterschijf, maar bevat geen sterren, wat impliceert dat de inval van koud gas de meest waarschijnlijke oorzaak is.

### **Het eerste project van dit proefschrift: evolutie van melkwegstelsels in clusters**

Dit proefschrift bestaat uit twee projecten op het gebied van evolutie van melkwegstelsels. In het eerste onderzoeken we de invloed van de omgeving op de evolutie van spiraalstelsels. Zoals eerder al aangegeven bevatten nabije clusters vrijwel geen spiraalstelsels, omdat die al veranderd zijn in S0 stelsels. Om dit proces te bestuderen moeten we dus verder weg kijken, waar spiraalstelsels deze transformatie ondergaan. In hoofdstukken 2 en 3 analyseren we melkwegstelsels in vier verschillende clusters op een gemiddelde roodsverschuiving van  $z \sim 0.4$ . We bestuderen hun gas,

omdat de verdeling en bewegingen daarvan gevoeliger zijn voor externe invloeden dan bv. van sterren. In afwezigheid van invloeden van buitenaf zouden de bewegingen van gas en sterren goed beschreven moeten worden door cirkelvormige rotatie in één vlak. Hoe sterk de eigenlijke bewegingen afwijken van dit model is dus een indicatie van de sterkte van de externe invloeden. Dit idee volgend kwantificeren we drie verschillende onregelmatigheden in de kinematica van het gas: (1) De mate waarin de banen van het gas afwijken van een enkel vlak, (2) hoezeer de bewegingen afwijken van cirkelvormige rotatie, en (3) hoeveel het vlak waarin het gas roteert afwijkt van het vlak waarin de sterren bewegen.

Deze onregelmatigheden meten we niet alleen voor stelsels in verre clusters, maar ook voor verre en nabije geïsoleerde stelsels. De nabije stelsels worden gebruikt om drempelwaarden voor de metingen te definiëren waarboven we de snelheidsvelden onregelmatig kunnen noemen. We vinden dat in alle drie parameters verre geïsoleerde stelsels en stelsels in verre clusters dezelfde waarden hebben. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de clusterstelsels die al gas kwijt zijn geraakt door externe invloeden in deze analyse ontbreken, omdat ze niet genoeg gas meer bevatten om een duidelijk signaal te produceren om te kunnen worden waargenomen. Het merendeel van de clusterstelsels in deze studie is dus waarschijnlijk net in de cluster aangekomen. De verre geïsoleerde stelsels zijn echter wel veel onregelmatiger dan hun nabije tegenhangers. Dit geeft aan dat deze stelsels waarschijnlijk nog bezig zijn hun schijven te vormen door middel van inval van dwergstelsels en gas.

We onderzoeken ook mogelijke verbanden tussen verstoringen in de gaskinematica, als aanwijzingen voor omgevingsinvloeden, en het sterlicht van melkwegstelsels. Dit kan informatie opleveren over de mogelijke afhankelijkheid van de efficiëntie van een interactie van bepaalde intrinsieke eigenschappen van een melkwegstelsel. We vinden dat de afstand van het rotatievlak van het gas met de sterschijschijf correleert met twee verschillende stervormingsactiviteitsindicatoren. Dit is niet onverwacht, aangezien modellen voorspellen dat interacties in clusters in eerste instantie stervorming stimuleren, voordat ze het uiteindelijk onderdrukken. We concluderen ook dat de afstand tussen het gas- en stervlak groter is voor clusterstelsels met minder zware sterschijschijven.

### **Het tweede project van dit proefschrift: infrarood kleuren en kleurgradiënten van vroeg-type melkwegstelsels**

In het tweede project introduceren we een nieuwe methode om de vorming en evolutie van vroeg-type stelsels te bestuderen. Er zijn twee belangrijke theorieën voor hun vorming. Volgens de monolitische inval theorie worden ze gevormd door de samentrekking van initiële gaswolken, vergezeld gaande met vroege, efficiënte stervorming (Eggen et al. 1962). Een alternatieve theorie is de hiërarchische vormingstheorie, die claimt dat elliptische stelsels gevormd worden door het samensmelten van spiraalstelsels (Toomre 1977). In het eerste geval worden overal sterren gevormd tijdens de samentrekking en blijven die dezelfde banen volgen terwijl het gas naar binnen valt en met metalen verrijkt wordt. Dit zorgt ervoor dat sterren die in de centrale gebieden gevormd worden een hoger metaalgehalte hebben dan de sterren die in de buitengebieden geboren worden. De eerste theorie voorspelt dus de aan-

wezigheid van gradiënten in leeftijd en metaalgehalte. Simulaties tonen echter aan dat samensmeltingen van melkwegstelsels, door de tweede theorie voorspeld, zulke gradiënten afvlakt.

Sterren zijn de bouwstenen van melkwegstelsels. Hoe snel ze evolueren en sterven, en welke chemische elementen ze produceren hangt allemaal af van hun massa. Het licht dat we op een bepaalde positie in een melkwegstelsel meten, is afkomstig van vele sterren en deze totale energieverdeling is afhankelijk van de leeftijden en metaalgehalten van de onderliggende sterpopulaties. Deze informatie is echter niet eenvoudig te achterhalen. Zo is de helling van de energieverdeling (de kleur) in het zichtbare licht bijvoorbeeld even gevoelig voor de leeftijd als voor het metaalgehalte. In een kleur-kleur diagram volgen veranderingen in leeftijd en metaalgehalte dezelfde lijn, wat het onmogelijk maakt deze effecten van elkaar te onderscheiden. Dit probleem wordt de leeftijd-metaalgehalte ontaarding genoemd. Sommige absorptiebanden in de energieverdeling zijn echter gevoeliger voor één van de twee, en dus is het mogelijk om de ontaarding op te heffen met behulp van bepaalde combinaties van absorptielijnen. Hier definiëren we een nieuwe methode waarmee dit ook kan en die bovendien gedaan kan worden met een parameter die gemakkelijker waar te nemen is: de  $3.6\mu\text{m}$ - $4.5\mu\text{m}$  kleur in het infrarood. We hebben ontdekt dat deze kleur nauw correleert met de massa, hetgeen betekent dat hij heel gevoelig is voor het metaalgehalte. Samen met de sterkte van de Mgb absorptielijn in het spectrum kunnen we hiermee de leeftijden en metaalgehalten van sterpopulaties bepalen. We bekijken ook welke van de twee bovengenoemde theorieën onze waarnemingen beter beschrijft en vinden data de kleur- en metaalgehaltegradiënt een grote variatie vertoont, vooral onder de zwaarste stelsels. Dit suggereert dat een combinatie van beide theorieën nodig is om de vorming en evolutie van melkwegstelsels te verklaren.

